이동 애드-혹 네트워크 환경에서 컨트롤 오버 헤드를 줄이기 위한 멀티캐스트 라우팅 프로토콜

(A Multicast Routing Protocol for Reducing the Control Overhead in Mobile Ad-Hoc Networks)

임 유 진 † 안 상 현 ††
(Yujin Lim) (Sanghyun Ahn)

요 약 동적 토폴로지 특성을 가지는 애드-혹 네트워크에서의 응용들 중 많은 부분이 그룹 통신을 기반으로 하고 있다. 그러나 현재의 멀티캐스팅은 각 그룹에 대하여 트리나 메쉬와 같은 멀티캐스트 하부 구조를 기반으로 동작하므로, 동적으로 토폴로지가 변화하는 환경에서는 많은 오버헤드를 야기시킨다. 따라서 본 논문에서는 응용의 특성상 소규모 그룹 통신이 주종을 이루는 애드-혹 네트워크 환경에서 멀티캐스트 하부 구조를 구축하지 않고 유니캐스트 라우팅 테이블만을 기반으로 멀티캐스팅 서비스를 제공하는 새로운 기법을 제안한다.

키워드 : 무선 이동 애드-혹 네트워크, 멀티캐스트 라우팅

Abstract Ad-hoc networks have the dynamic topology characteristics and most of the applications on ad-hoc networks require the group communication capability. Previously proposed multicast mechanisms on mobile ad-hoc networks build multicast-infrastructures like the tree or mesh for the group communication and these infrastructures may cause significant overhead especially in a highly dynamic mobile ad-hoc network environment. Therefore, in this paper, we propose a new multicast mechanism supporting multicast services based on only the underlying unicast routing tables, hence any multicast-related infrastructures like trees and meshes are not required to be constructed.

Key words : Wireless mobile ad-hoc network, Multicast routing

1. 서 론

애드-혹 네트워크는 고정된 하부 망이나 기지국의 도움 없이 이동 노드들만으로 구성된 무선 통신망이다. 과거에는 재난구조나 전쟁터에서 군인들의 통신수단으로 사용되었으나, 최근에는 PDA나 노트북과 같은 무선 통신 기기의 발전으로, 언제 어디에서나 고정 통신 시설의 도움 없이 통신 서비스를 제공할 수 있는 기술로 많은 주목을 받고 있다. 애드-혹 네트워크의 각 노드들은 자유롭게 이동하며, 따라서 네트워크 토폴로지는 시간에 따라 변화한다. 또한 무선 채널의 특징으로 인하여 데이타 전송 반경이 제한되며, 낮은 대역폭과 높은 에러 율, 그리고 배터리의 한계로 인한 많은 제약 사항들이 애드-혹 네트워크 환경에서의 라우팅 또는 멀티캐스팅을 어렵게 하고 있다.

애드-혹 네트워크 환경에서의 응용은 회의장에서의 정보 공유 또는 게임과 같은 그룹 통신이 많은 부분을 차지하고 있으므로, 효율적인 멀티캐스팅 서비스 지원이 필수 요소라 할 수 있다. 그러나 기존의 유선 망에서 사용되던 DVMRP(Distance Vector Multicast Routing Protocol), MOSPF(Multicast Open Shortest Path First), CBT(Core Based Trees), PIM(Protocol Independent Multicast)과 같은 프로토콜들은 네트워크 토폴로지가 변할 때마다 멀티캐스트 트리를 재구성해야 하므로, 토폴로지가 자주 변화하는 애드-혹 네트워크 환경에서는 많은 컨트롤 오버헤드를 발생시킬 수 있다.

· 이 논문은 한국과학재단의 해외 Post-doc. 연수 지원에 의하여 연구되었음.
· 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R04-2001-00054) 지원으로 수행되었음.
† 비 회 원 : UCLA, Computer Science Department
yujin@cs.ucla.edu
†† 종신회원 : 서울시립대학교 컴퓨터통계학과 교수
(corresponding author임)
ahn@venus.uos.ac.kr
논문접수 : 2001년 11월 21일
심사완료 : 2002년 8월 5일

이러한 문제 해결을 위하여 애드-혹 네트워크 환경을 기반으로 한 ODMRP(On Demand Multicast Routing Protocol)[1], AMRIS(Ad hoc Multicast Routing protocol utilizing Increasing id-numberS)[2], AMRoute (Ad hoc Multicast Routing)[3], CAMP(Core Assisted Mesh Protocol)[4]와 같은 새로운 멀티캐스트 프로토콜들이 제안되었다. 새롭게 제안된 프로토콜들은 트리 구조 대신 신뢰성을 높여줄 수 있는 메쉬(mesh) 구조를 도입하였거나, 시간에 따라 자주 변화하는 토폴로지의 특성을 반영하기 위하여 정기적으로 플러딩(flooding) 또는 비콘(beacon) 메시지를 전송하는 방식을 채택하였다. 그러나 이러한 방식 또한 메쉬나 트리 형태의 구조를 유지해야 하기 때문에, 동적으로 변화하는 새로운 토폴로지에 적응하기 위하여 많은 수의 컨트롤 메시지를 교환하여야 하는 오버헤드를 야기한다. 따라서 본 논문에서는 대규모 그룹보다는 소규모 그룹이 주종을 이루는 애드-혹 네트워크 환경에서 트리나 메쉬 형태의 멀티캐스트 하부 구조를 유지하지 않고도 효율적으로 멀티캐스트 서비스를 제공할 수 있는 새로운 개념의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 제안된 애드-혹 네트워크 환경에서의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜들을 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 새로운 멀티캐스트 라우팅 프로토콜에 대하여 설명하고, 4장에서 성능평가를 수행한 후, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

ODMRP[1] 프로토콜은 포워딩 그룹(forwarding group) 개념을 사용하는 라우팅 프로토콜이다. 그림 1에서와 같이 멀티캐스트 소스는 데이타 패킷, 즉 JOIN_DATA를 전체 네트워크에 플러딩 한다. JOIN_DATA 패킷은 새로운 그룹 멤버십 정보와 네트워크 토폴로지의 변화를 반영하기 위하여 정기적으로 플러딩 된다. JOIN_DATA 패킷을 수신한 그룹 멤버는 자신의 이웃 노드들에게 JOIN_TABLE 패킷을 전송하여 소스로부터 자신까지의 경로를 구축한다. JOIN_TABLE 패킷을 수신한 노드는 자신이 소스로의 경로 상에 있는 노드인지를 확인한 후, 경로 상에 존재한다면 JOIN_TABLE을 계속해서 소스로 전송한다. 이러한 과정을 거쳐 소스로부터 그룹 멤버들로의 메쉬가 형성된다. 메쉬 구조를 사용함으로써 유선 망에서 사용하는 트리 구조보다 많은 연결성을 제공할 수 있다. 소스와 그룹 멤버사이에 하나 이상의 경로가 존재함으로써 노드의 이동으로 인한 경로 변경시, 보다 신뢰성 있는 전송을 제공할 수 있다. 그러나 메쉬 구조의 유지를 위해 정기적으로 데이타를 플러딩 해야 하므로 전체 네트워크에 많은 메시지 오버헤드를 부가하는 단점이 있다.

AMRIS[2]는 공유 트리 방식의 프로토콜로, 네트워크 상의 각 노드는 멀티캐스트 세션 ID 번호를 할당받는다. 멀티캐스트 그룹에 가입하고자 하는 노드는 자신의 ID 번호보다 작은 ID를 가지는 노드를 대상으로 JOIN_REQ 메시지를 전송함으로써 그룹에 가입한다. 네트워크 상의 각 노드는 정기적으로 이웃 노드들에게 비콘 메시지를 브로드캐스트함으로써 링크 상태 및 그룹 멤버십 정보를 유지한다. 그러나 AMRIS는 트리 구조를 사용하므로 토폴로지가 변화하면 해당 트리를 통하여 패킷 전송이 불가능해지며, 이를 극복하기 위하여 토폴로지가 변할 때마다 트리를 재구성해야 하는 오버헤드가 발생한다.

AMRoute[3]는 트리 구조와 메쉬 구조를 둘 다 이용한 프로토콜이다. 먼저 코어가 정기적으로 JOIN_REQ 패킷을 플러딩 함으로써 멀티캐스트 그룹 멤버들 사이에 메쉬를 형성한다. 그런 다음, 코어는 TREE_CREATE 패킷을 메쉬를 통해서 전송함으로써 그림 2와 같은 가상 공유 트리를 형성한다. 이 방법의 장점은 네트워크 토폴로지가 변화했을 경우 메쉬 내에 그룹 멤버들 사이의 경로가 존재하는 한, 데이타 패킷은 트리를 통하여 전송이 가능하다는 점이다. 그러나 루프가 형성될 수 있고 최적 경로로 구성된 트리를 구성하지 못하는 단점을 가진다.

가장 최근에 발표된 Simple protocol[5]은 그룹의 크기가 작고 노드들의 이동성이 매우 강한 환경에서 트리

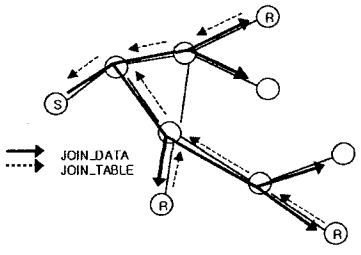


그림 1 ODMRP 동작 과정

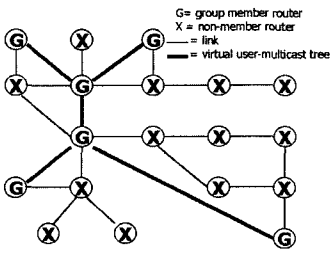


그림 2 AMRoute 구성

나 메쉬 형태의 멀티캐스트 하부 구조를 유지하는 것은 과도한 컨트롤 오버헤드를 야기할 수 있으므로, 유니캐스트 프로토콜인 DSR[6]의 경로 발견(Route Discovery) 기법을 이용하여 멀티캐스트 데이타를 네트워크에 플러딩하는 방법을 채택하였다. Simple Protocol은 멀티캐스트 하부 구조를 구축하지 않기 때문에 컨트롤 메시지 오버헤드는 줄였다 하더라도, 데이타 패킷을 플러딩 함으로써 과도한 메시지 오버헤드를 야기한다.

3. ILMP(Infrastructure-Less Multicast Protocol)

본 논문에서는 동적으로 변화하는 애드-혹 네트워크에서 트리나 메쉬와 같은 멀티캐스트 하부 구조에 의존하지 않고, DSR[6], AODV[7]와 같은 유니캐스트 라우팅 정보를 기반으로 멀티캐스트 서비스를 제공하는 새로운 프로토콜을 제안한다. 이 프로토콜은 Simple protocol[5]과 같이 브로드캐스팅을 기반으로 하지 않으므로 과도한 메시지 오버헤드를 야기하지 않으며, ODMRP, AMRIS, AMRoute와 같이 메쉬나 트리 구조를 사용하지 않으므로 컨트롤 오버헤드를 줄일 수 있다.

멀티캐스트 세션에 참가하고자 하는 노드는 자신의 가입 의사를 담은 JOIN 메시지를 소스에게 전송한다. 노드로부터 JOIN 메시지를 수신한 소스는 자신이 유지하고 있는 그룹 멤버십 테이블에 노드 주소를 저장한 후, 해당 노드에게 Ack 메시지를 전송한다. 그룹에서 탈퇴하고자 하는 노드는 소스에게 Leave 메시지를 전송함으로써 자신의 의사를 알릴 수 있다.

소스는 유니캐스트 라우팅 테이블(Unicast Routing Table : URT) 정보를 기반으로, 같은 다음 홉(next hop)을 가지는 그룹 멤버들을 클래스로 분류한다. 본 프로토콜은 특정 유니캐스트 라우팅 프로토콜에 의존하지 않는다. 같은 클래스 당 하나의 데이타 패킷이 전송되며, 전송되는 데이타 패킷에는 소스 데이타와 클래스 멤버들의 주소 목록이 포함된다. 멤버들의 주소는 IP 옵션 필드에 저장되며, 목적지 주소 필드에는 그룹 주소가 명시된다. 해당 패킷은 URT를 기반으로 진행되며, 멤버 주소에 따라 패킷이 각기 다른 방향으로 분기 진행해야 하는 경우에는 그림 3에서와 같이 주소 목록을 분리하여 각각 전송한다. 그림 3은 소스가 그룹 멤버인 A, B, C 노드에게 데이타를 전송하는 예를 나타낸 것이다. 소스는 멀티캐스팅 서비스를 제공하기 위한 어떠한 멀티캐스트 하부 구조도 구축하지 않은 상태에서 URT 정보만을 기반으로 그룹 멤버들에게 데이타를 전송할 수 있다. 브로드캐스트를 기반으로 하지 않기 때문에 메시지 오버헤드를 줄일 수 있고, 네트워크 토폴로지가 변경

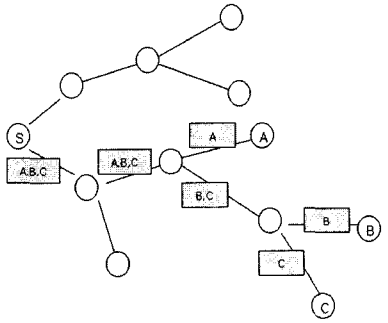
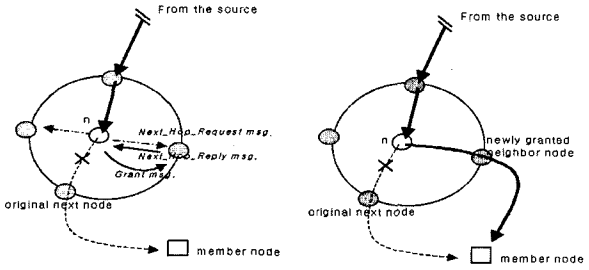


그림 3 ILMP 프로토콜 동작 예

된 경우에도 새롭게 갱신된 최신 URT 정보를 기반으로 멤버들에게 데이타를 전송한다. 또한 URT를 기반으로 전송하므로 각 멤버로의 최단 경로를 통하여 데이타를 전송함으로써 전송 효율을 높일 수 있고, 하부 구조 구축 및 유지에 필요한 컨트롤 오버헤드를 제거하였다.

가장 최근에 갱신된 URT를 기반으로 메시지를 전송한다 하더라도 노드들이 계속해서 움직이므로, 링크 단절과 같은 이유로 더 이상 데이타를 진행시킬 수 없는 상태가 발생할 수 있다. 이 경우 유니캐스트 라우팅 프로토콜 모듈에 라우팅 정보 갱신을 요구한다. 또한 보다 신속한 전송을 위하여 더 이상 메시지를 진행시킬 수 없는 노드는 URT가 갱신될 동안 메시지 내의 멤버 주소 목록을 기반으로 자신의 이웃 노드들에 대하여 멤버 노드에 대한 라우팅 정보 유무를 확인한다. 멤버 노드에 대한 라우팅 정보를 가지고 있는 이웃 노드가 존재하는 경우, 해당 이웃 노드에게 데이타 전송을 의뢰함으로써 URT 갱신 이전에 보다 빠른 전송 서비스를 제공할 수 있다. 그림 4.(a)에서와 같이 소스로부터 진행되어 온 데이타가 노드 n에서 더 이상 진행될 수 없는 경우, 노드 n은 자신의 이웃 노드들에게 Next_Hop_Request 메시지를 1 홉 플러딩 하여 라우팅 정보를 요구한다. 이웃 노드들 중에서 멀티캐스트 멤버에 대한 라우팅 정보를 가지고 있는 노드는 Next_Hop_Reply 메시지로 응답하며, 노드 n은 수신된 Next_Hop_Reply 메시지 중에서 최단 경로 정보를 유지하고 있는 이웃 노드를 선택하여 해당 이웃 노드에게 Grant 메시지를 전송함으로써 데이타 메시지 전송을 의뢰함으로써 그림 4.(b)에서와 같이 데이타 전송이 재개된다. 이웃 노드들이 라우팅 정보를 유지하고 있지 않다면, URT가 갱신되기를 기다려 갱신된 정보를 기반으로 데이타 전송을 재 시작한다.

본 논문에서 제안한 프로토콜은 그룹 멤버 각각으로의 다중 유니캐스트 전송에 대한 네트워크 자원 낭비



(a) (b)

그림 4 링크 단절 시 ILMP의 동작

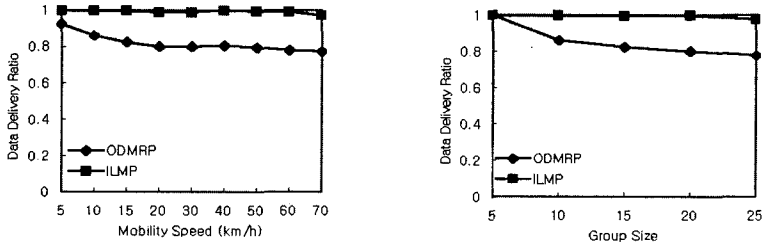
측면과, 멀티캐스트 트리 구축을 통한 컨트롤 오버헤드 측면을 모두 고려하여, 동적 환경에서 많은 컨트롤 오버헤드를 야기하지 않으면서도 최대한 자원 이용 효율을 높이기 위한 방법이다. 그러나 데이타 패킷 내에 그룹 멤버들의 IP 주소를 포함하기 때문에 한 패킷 당 포함될 수 있는 주소의 개수가 제한되어 있고, 멤버 수가 많은 대규모 그룹의 경우에는 소스로부터의 패킷 전송 횟수가 많아지는 단점이 있다. 그러나 애드-혹 네트워크 환경에서의 그룹 통신은 멤버 수가 많지 않은 소규모 응용이 많은 부분을 차지하므로 본 프로토콜이 충분히 타당성을 가진다고 할 수 있다.

4. 성능 평가

본 논문에서 제시한 프로토콜의 실험적 성능 평가를 위하여 GloMoSim[8] 시뮬레이터를 사용하였다. GloMoSim은 PARSEC[9]에서 만든 분산 시뮬레이션 언어를 기반으로 구축된 무선 네트워크 시스템 시뮬레이션 패키지다. 시뮬레이션 환경은 반경 1000m×1000m내에 50 이동 노드가 존재하며 각 노드의 전송 반경은 250m, 채널 용량은 2Mbps로 설정하였다[10]. 각 이동 노드들의 이동 방향은 무작위로 선택된다. 자유공간전파모델을 사용하여 거리 d에 따라 신호가 $1/d^2$ 만큼 감소하는 라디오 모델을 적용하였고, 매체 접근제어 프로토콜로는 IEEE 802.11을 가정하였다. AODV를 하부에서 동작하는 유니캐스트 라우팅 프로토콜로 가정하였고, 멀티캐스트 프로토콜의 성능 비교를 위하여 앞서 2장에서 설명한 ODMRP를 채택하였다. ODMRP는 트리 구조를 사용하는 멀티캐스트 프로토콜에 비하여 메쉬 구조를 채택함으로써 데이타 전송의 신뢰성을 높였고, 데이타의 정기적인 플러딩을 통하여 동적으로 변화하는 토폴로지에 효율적으로 적응하는 장점을 가진다. 멀티캐스트 소스는 그룹 내에서 무작위로 선택되며, 소스는 평균 512 바이트 길이의 데이타를 고정비트율(CBR) 2packets/sec로 생성한다. 전체 시뮬레이션 시간은 100초다.

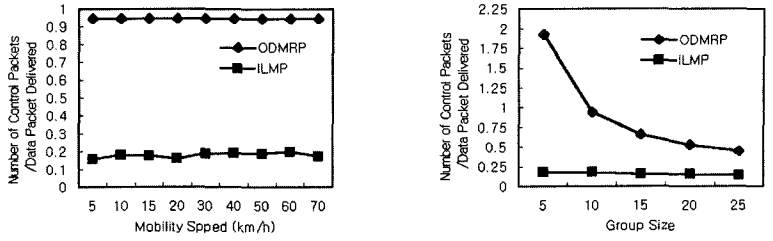
성능 평가 요소로는 멀티캐스트 그룹 크기와 트래픽 부하, 그리고 노드들의 이동 속도가 변화하는 환경에서, 데이타 전송 비율과 소스가 하나의 데이타 패킷을 멤버들에게 전송하기 위하여 실질적으로 네트워크 내에서 전송된 데이타 패킷 또는 제어 패킷의 수를 측정하였다. 이러한 요소들은 IETF MANET 워킹 그룹에서 제안한 라우팅 프로토콜 성능 평가 요소들을 기준으로 한 것이다[11].

그림 5는 노드의 이동성과 멀티캐스트 그룹 크기 변화에 따른 데이타 전송 비율을 나타낸 것이며, 그림 5.(a)는 그룹 크기를 10으로 설정하여 실험하였고 그림



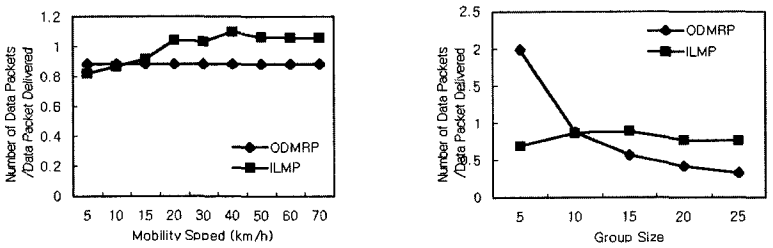
(a) (b)

그림 5 데이타 전송 비율



(a) (b)

그림 6 컨트롤 패킷 오버헤드



(a) (b)

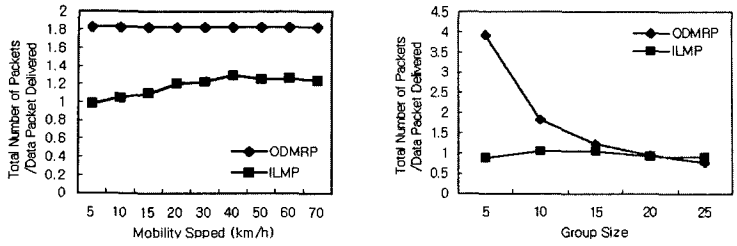
그림 7 데이타 오버헤드

5.(b)는 노드의 이동성을 10km/hr로 설정한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 플러딩을 기반으로 하는 ODMRP 방식보다 본 논문에서 제시한 ILMP (Infrastructure-Less Multicast Protocol) 방식이 보다 높은 신뢰성을 제공하는 것을 볼 수 있다. ODMRP의 경우 각 노드는 맨 처음 수신한 데이타 패킷에 대해서만 플러딩을 수행하므로, 노드가 움직이는 환경에서는 전송 보장을 하기가 어렵다. ILMP는 URT를 기반으로 데이타를 전송하며 노드의 이동으로 인하여 더 이상 데이타를 전송하지 못하는 경우에는 URT의 갱신을 요구하게 된다. 또한 동시에 주위의 이웃 노드들의 라우팅 정보를 기반으로 전송 시도를 하기 때문에 단순한 플러딩을 기반으로 하는 ODMRP에 비하여 높은 신뢰성을 가진다고 할 수 있다.

그림 6은 하나의 데이타 패킷 전송을 위해 전송된 컨트롤 패킷 수를 나타낸 것이다. 그룹 크기가 커짐에 따라 ODMRP의 경우 컨트롤 패킷의 수가 감소하기는 하지만, 전체적으로 ILMP가 ODMRP에 비하여 상당히 적은 수의 컨트롤 오버헤드를 가진다는 것을 알 수 있다. 이는 ODMRP의 경우는 메쉬 구조 유지를 위하여 각 멤버 노드들이 정기적으로 JOIN_TABLE 패킷을 자신의 이웃 노드들에게 전송해야 하지만, ILMP의 경우는 메쉬나 트리와 같은 멀티캐스트 하부 구조를 유지하지 않기 때문에, 이러한 컨트롤 오버헤드를 거의 야기하지 않기 때문이다.

그림 7은 하나의 데이타 패킷을 그룹 멤버에 전달하기 위하여 네트워크에 전송된 데이타 패킷의 수를 나타낸 것이다. ODMRP의 경우는 플러딩을 기반으로 데이타를 전송하므로 노드의 이동성에 영향을 받지 않으며, 그룹의 크기가 커짐에 따라 오히려 데이타 오버헤드가 줄어드는 특성을 보인다. ILMP의 경우는 노드의 이동성이 커짐에 따라 기존의 URT 정보에 의한 전송이 실패할 확률이 높아져, 이웃 노드들에게 라우팅 정보를 문의해야 하므로 데이타 오버헤드가 최대 30%까지 증가함을 볼 수 있다. 또한 그룹의 크기가 커짐에 따라 각 다음 홉별로 전송되는 데이타 패킷의 수도 증가하므로 이 또한 최대 30% 정도의 오버헤드 증가를 야기한다.

그림 8은 앞서 언급한 컨트롤 오버헤드와 데이타 오버헤드를 합산한 것이다. 그룹 크기가 20 노드 이하의 작은 그룹에 대해서는 ILMP가 ODMRP보다 높은 신뢰성을 제공하며, 또한 메시지 오버헤드 측면에서도 효율적인 것을 알 수 있다. 또한 네트워크 내의 다른 노드들에게 멀티캐스트 서비스 제공을 위한 어떠한 요구(상태 정보 유지를 위한 메모리 요구와 같은)도 하지 않으므로, 각 이동 노드의 기기 성능에 제한이 있는 애드-혹 네트워크 환경에 적합하며, 이동 환경에서의 멀티캐스트 응용의 많은 부분이 작은 그룹을 대상으로 하므로, 그 활용 가치 또한 높다고 할 수 있다.



(a) (b)

그림 8 메시지 오버헤드

5. 결 론

고정된 하부 망이나 기지국의 도움 없이 이동 노드들만으로 구성된 애드-혹 네트워크에서의 주된 응용들은 멀티캐스트 서비스를 기반으로 하고 있다. 그러나 기존의 유선 망에서 사용하던 멀티캐스트 기술은 그룹에 참여하지 않는 노드들에게도 트리와 같은 멀티캐스트 하부 구조를 위한 정보 유지 부담을 부가시키며, 토폴로지가 변함에 따라 하부 구조 유지를 위한 많은 오버헤드를 야기한다. 따라서 본 논문에서는 기존의 유니캐스트 라우팅 테이블 정보만을 기반으로 그룹에 참여하지 않는 노드들에게 어떠한 오버헤드도 부가하지 않는 멀티캐스트 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 또한 성능 평가를 통하여 그룹 크기가 작은 환경에서 다른 애드-혹 멀티캐스트 프로토콜에 비하여 훨씬 적은 메시지 오버헤드와 높은 신뢰성을 제공함을 보였다.

향후 과제로는 메쉬 기반 멀티캐스트 프로토콜인 ODMRP 이외의 트리 기반 멀티캐스트 프로토콜인 AMRIS와 같은 다른 프로토콜과의 추가적인 성능 평가와 그룹의 크기가 커짐에 따라 데이타 오버헤드가 증가하는 단점을 제거하기 위한 연구가 있다.

참 고 문 헌

[1] S. J. Lee, M. Gerla, and C. C. Chiang, "On-Demand Multicast Routing Protocol," In Proceedings of IEEE WCNC'99, pp1298-1304, New Orleans, LA, Sep. 1999.

[2] C. W. Wu, Y. C. Tay, and C. K. Toh, "Ad hoc Multicast Routing protocol utilizing Increasing id-numberS(AMRIS) Functional Specification," Internet-Draft, draft-ietf-manet-amris-spec-00.txt, Nov. 1998.

[3] E. Bommaiah, M. Liu, A. McAuley, and R. Talpade, "AMRoute: Ad-hoc Multicast Routing Protocol," Internet-Draft, draft-talpade-manet-amroute-00.txt, Aug. 1998.

[4] J. J. Garcia-Luna-Aceves and E. L. Madruga, "The Core-Assisted Mesh Protocol," IEEE Journal on Selected Areas in communications, vol. 17, no. 8, pp1380-1394, Aug. 1999.

[5] J. G. Jetcheva, Y. C. Hu, D. A. Maltz, and A. B. Johnson, "A Simple Protocol for Multicast and Broadcast in Mobile Ad Hoc Networks," Internet-Draft, draft-ietf-manet-simple-mbcast-01.txt, July 2001.

[6] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," Mobile Computing, pp153-181, 1996.

[7] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad hoc On Demand Distance Vector Routing," In Proceedings IEEE WMCSA'99, pp90-100, New Orleans, LA, Feb. 1999.

[8] UCLA Computer Science Department Parallel Computing Laboratory and Wireless Adaptive Mobility Laboratory, "GloMoSim: A Scalable Simulation Environment for Wireless and Wired Network Systems," http://pcl.cs.ucla.edu/projects/domains/glo-mosim.html

[9] R. Bagrodia, R. Meyer, M. Takai, Y. Chen, X. Zeng, J. Martin, and H. Y. Song, "PARSEC: A Parallel Simulation Environment for Complex Systems," IEEE Computer, vol. 31, no. 10, pp77-85, Oct. 1998.

[10] S. J. Lee, W. Su, J. Hsu, M. Gerla, and R. Bagrodia, "A Performance Comparison Study of Ad Hoc Wireless Multicast Protocols," In Proceedings IEEE INFOCOM, pp565-574, 2000.

[11] S. Corson and J. Macker, "Mobile Ad hoc Networking(MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," Internet RFC 2501, IETF, Jan. 1999.

임 유 진

1995년 숙명여자대학교 전산학과 졸업(학사). 1997년 숙명여자대학교 전산학과 졸업(이학석사). 2000년 숙명여자대학교 전산학과 졸업(박사). 2000년 3월 ~ 10월 서울대학교 컴퓨터공학과 Postdoc. 2000년 11월 ~ 2002년 8월 서울시립대학교 기계정보공학과 초빙연구 전임강사. 2002년 9월 ~ 현재 UCLA, Computer Science Department, Postdoc. 관심분야는 QoS 라우팅, 멀티캐스트 라우팅, Differentiated Service 등

안 상 현

정보과학회논문지 : 정보통신
제 29 권 제 1 호 참조